

PENGARUH PENGGUNAAN STARCH TAPIOKA SEBAGAI ADITIF PADA PASIR CETAK GREENSAND

Hariningsih^{1*}, Dimas Aditya Priandana², Muhammad Awaludin²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Ceper

²Program Studi Teknologi Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Ceper

*Corresponding author: hariningsih@polmanceper.ac.id

Diterima: 11 Mei 2023

Direvisi: 5 Juni 2023

Disetujui: 20 Juni 2023

Terbit online: 21 Juni 2023

ABSTRAK

Kualitas pasir cetak adalah salah satu faktor terpenting dalam menghasilkan coran berkualitas tinggi. *Greensand* merupakan salah satu metode pasir cetak yang sering digunakan di industri pengecoran logam. Salah satu metode untuk meningkatkan kualitas *greensand* yaitu dengan penambahan *starch* tapioka. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *starch* tapioka sebagai aditif pada pasir cetak *greensand*, serta mendapatkan persentase penggunaan *starch* yang tepat untuk mencapai karakteristik yang optimal dan memenuhi standar. Komposisi utama pasir cetak *greensand* yang digunakan yaitu pasir silika baru, 10% bentonit, dan 3% air. *Starch* ditambahkan pada pasir cetak *greensand* dengan variasi 0%, 0,5%, 1% dan 1,5%. Pengujian pasir cetak yang dilakukan meliputi uji *moisture*, *permeability*, *compactability*, *green compression strength* (GCS), *dry compressive strength* (DCS), dan *wet tensile strength* (WTS). Hasil pengujian menunjukkan semakin banyak *starch* tapioka yang ditambahkan dengan komposisi air yang tetap, menyebabkan nilai *compactability* dan *moisture* menurun sehingga mengakibatkan *permeability*, GCS, DCS dan WTS juga menurun. Semakin banyak *starch* tapioka yang ditambahkan dengan komposisi air yang meningkat dan nilai *compactability* yang tetap mengakibatkan *moisture*, DCS, dan WTS meningkat tetapi *permeability* dan GCS menurun. Penambahan *starch* 0,5% dengan air 3% menghasilkan nilai GCS dan WTS yang paling optimal yaitu GCS sebesar 8,6 N/cm² dan WTS sebesar 0,224 N/cm². Penggunaan *starch* tapioka sangat mempengaruhi *moisture* dan *compactability*, dengan kata lain *starch* tapioka secara tidak langsung mempengaruhi GCS, DCS, dan WTS.

Kata kunci: *starch* tapioka, aditif, *greensand*, *moisture*, *compactability*

ABSTRACT

The quality of the moulding sand is one of the most critical factors in producing high-quality castings. Greensand is a moulding sand method often used in the metal casting industry. One way to improve the quality of greensand is by adding tapioca starch. Therefore, this study aimed to determine the effect of tapioca starch as an additive in greensand and to obtain the correct percentage of tapioca starch usage to achieve optimal and standard characteristics. The main composition of the greensand used is new silica sand, 10% bentonite, and 3% water. In addition, tapioca starch was added to greensand with 0%, 0.5%, 1% and 1.5% variations. The moulding sand tests included moisture, permeability, compactability, green compression strength (GCS), dry compressive strength (DCS), and wet tensile strength (WTS). The test results showed that more and more tapioca starch was added with a constant water composition, causing the compactability and moisture values to decrease, resulting in reduced permeability, GCS, DCS and WTS. Adding more tapioca starch with the increased water composition and the fixed compactability value resulted in increased moisture, DCS, and WTS but decreased permeability and GCS. Adding 0.5% starch with 3% water produced the most optimal GCS and WTS values, namely GCS of 8.6 N/cm² and WTS of 0.224 N/cm². The use of tapioca starch significantly affects moisture and compactability. In other words, tapioca starch indirectly affects GCS, DCS and WTS.

Keywords: *tapioca starch*, *additive*, *greensand*, *moisture*, *compactability*

1. PENDAHULUAN

Salah satu dari teknik pengecoran secara konvensional yang masih dipakai di industri manufaktur adalah pengecoran dengan menggunakan pasir cetak [1]. Pasir cetak memiliki tiga jenis cetakan pasir seperti *green sand*, *cold-box* dan *no-bake mold*. Cetakan yang sering dan banyak dipakai dan paling murah yaitu pasir cetak *greensand* [2], yaitu cetakan pasir yang terdiri dari pasir silika sebagai bahan utama, zat pengikat, dan bahan tambah [3]. Pasir cetak *green sand* memiliki karakteristik mampu alir gas atau permeabilitas, kekerasan, dan kekuatan yang baik sehingga lebih cocok untuk pengecoran [4][5]. Kualitas benda cor dipengaruhi oleh sifat fisik, mekanik, dan kimia dari pasir cetak [6]. Cetakan pasir menjadi hal yang penting untuk diperhatikan karena rendahnya kekuatan mekanis dari pasir cetak mengakibatkan ketika logam dituang, akibatnya pasir cetak tidak mampu menahan logam cair yang masuk sehingga ikut terkikis dan larut dalam logam cair [7]. Rendahnya sifat mekanik dan kekuatan pasir cetak *greensand* dapat disebabkan oleh penggunaan pasir daur ulang secara terus menerus. Hal ini juga dapat mempengaruhi proses produksi dan kualitas produk hasil pengecoran. Kekuatan pasir cetak *greensand* dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan aditif berupa *starch* jenis tapioka [8]. Aditif merupakan bahan yang ditambahkan ke cetakan *greensand* untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu pada cetakan tersebut [9][10]. Beberapa sifat yang dapat dinaikkan dengan bahan aditif diantaranya ketahanan penetrasi terhadap logam cair, kehalusan permukaan cetakan dalam/ *cavity*, plastisitas temperatur yang tinggi [11][12].

Starch merupakan bahan berbentuk tepung atau butiran sangat lembut, berwarna putih tidak berbau dan tidak memiliki rasa, yang berasal dari jagung, padi-padian, kentang, dan lain-lain. *Starch* diperoleh dari akar tanaman singkong yang ditemukan di daerah khatulistiwa antara *tropic of cancer* dan *tropic of capricorn*. Nama untuk tanaman singkong bervariasi tergantung pada wilayahnya: *yucca* (Amerika Tengah), *mandioca* atau *manioca* (Brasil), tapioka (India dan Malaysia) dan *cassada* atau singkong (Afrika dan Asia Tenggara). Di Amerika Utara dan Eropa, nama singkong, umumnya digunakan untuk akar tanaman, sedangkan tapioka adalah nama yang diberikan untuk pati dan produk olahan lainnya [13]. *Starch* di industri pengecoran logam digunakan sebagai bahan pengikat pasir cetak. Penerapan *starch* sebagai pengikat utama dalam teknologi pasir cetak belum umum digunakan karena sifat fisiokimianya. *Starch* saat ini digunakan sebagai aditif atau bahan tambah pada pasir cetak untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasannya [14]. Penambahan persentase *starch* dapat mencegah penetrasi logam dan dapat membuat pembongkaran lebih mudah. Hal itu dapat dilihat dari *permeability* yang menurun karena *starch* menutup pori-pori pasir cetak (sifat *starch* yang lengket), sehingga dapat mencegah penetrasi logam karena *starch* mengisi kekosongan antara butiran pasir dan terbakar cepat disuhu tinggi. Di sisi lain, adanya *starch* dalam komposisi cetakan menyebabkan kemampuan alir gas cetakan lebih lemah, resistensi yang lebih rendah terhadap penetrasi logam ke dalam cetakan, dan ketahanan erosi yang lebih rendah. Hal ini disebabkan fakta bahwa *starch* itu tidak larut dalam air dingin. Pelarutan sebagian *starch* dalam air hanya terjadi pada suhu sekitar 70°C [15]. Selain itu tepung tapioka maupun tepung sagu memiliki sifat perekat dan dapat membentuk pasta keras seperti lem [16].

Berdasarkan pemaparan di atas maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *starch* tapioka sebagai aditif pada pasir cetak *greensand*. Karakteristik *greensand* yang diuji meliputi *permeability*, *moisture* (kadar air), *compactability*, kuat tekan basah (*green compressive strength* atau GCS), kuat tekan kering (*dry compressive strength* atau DCS), dan *wet tensile strength* (WTS). Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui presentase penggunaan *starch* tapioka yang tepat untuk mendapatkan karakteristik yang optimal dan memenuhi standar.

2. METODE PENELITIAN

Pasir cetak yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir cetak *green sand* dengan aditif (bahan tambah) *starch* tapioka. Gambar 1. menunjukkan bahan tambah *starch* jenis tapioka yang digunakan dalam penelitian ini. Komposisi detail pasir cetak *green sand* yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Sampel A, B, C1, dan D1 menggunakan presentase air tetap 3%, sedangkan sampel C2 menggunakan air 3,6% dan D2 air 3,8%. Pasir yang digunakan yaitu 100% pasir silika baru dengan *grain fineness number* (GFN) 59,30. Setiap variasi komposisi mengalami 2 kali pencampuran atau *mixing*, yaitu *mixing* kering dan *mixing* basah. *Mixing* kering adalah pencampuran bahan kering (pasir, bentonit, dan *starch*) kemudian dilakukan pengadukan selama 2 menit. Sedangkan *mixing*

basah adalah pengadukan setelah air dimasukkan pada bahan kering yang telah tercampur rata. *Mixing* basah dilakukan selama 10 menit.



Gambar 1. *Starch* jenis tapioka yang digunakan dalam penelitian ini

Tabel 1. Komposisi pasir cetak *greensand*

Bahan	Sampel					
	A	B	C1	C2	D1	D2
Pasir silika baru GFN 59,30 (gr)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Bentonit (%)	10	10	10	10	10	10
Air (%)	3	3	3	3,6	3	3,8
<i>Starch</i> (%)	0	0,5	1	1	1,5	1,5

Jenis pengujian dan alat pengujian disajikan pada Tabel 2. Pengujian *moisture* (kadar air) bertujuan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat pada pasir cetak. Pengujian *compactibility* bertujuan untuk mengetahui kemampuan pasir untuk dipadatkan atau dibentuk. Pengujian *permeability* (mampu alir gas) bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari pasir cetak untuk mengalirkan gas. Pengujian *dry compression strength* (DCS) untuk mengetahui kekuatan yang terdapat pada pasir cetak setelah tidak ada lagi kandungan air di dalam pasir cetak. DCS menunjukkan kemampuan atau kekuatan pasir cetak untuk menahan erosi dan tekanan statis. *Green compression strength* (GCS) adalah kekuatan tekan pasir cetak dalam kondisi basah atau masih terkandung air di dalamnya. GCS menunjukkan kemampuan pasir cetak untuk menahan tekanan dari logam cair yang masuk ke dalam cetakan. Pengujian *wet strength tensile* (WTS) bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari pasir cetak dalam mempertahankan bentuknya. Nilai WTS menunjukkan kemampuan cetakan untuk menahan terjadinya perubahan dimensi (pengembangan) saat logam cair dituangkan.

Tabel 2. Jenis pengujian dan alat pengujian

Jenis Pengujian	Alat Uji
<i>Moisture</i>	<i>Moisture tester</i>
<i>Permeability</i>	<i>Permeability tester</i>
<i>Compactability</i>	<i>Sand Rammer</i>
<i>Green compression strength</i>	<i>Universal sand strength machine</i>
<i>Dry compression strength</i>	<i>Universal sand strength machine</i>
<i>Wet tensile strength</i>	<i>Wet Tensile Strength Tester</i>

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pasir cetak *greensand* dengan variasi penggunaan aditif *starch* tapioka dan presentase air tetap 3% disajikan pada Tabel 3. Semua hasil uji pasir cetak *greensand* dengan aditif 0% dan 0,5% *starch* tapioka memenuhi standar. Sedangkan penggunaan 1% dan 1,5% *starch* tapioka tidak semua hasil uji memenuhi standar. Hasil uji yang tidak standar diberi tanda lingkaran warna merah. Penggunaan presentase air yang tetap 3% menyebabkan nilai *compactability* dan DCS di bawah nilai standar. Nilai *compactability* yang sering digunakan di industri yaitu 40%, untuk

mendapatkan nilai tersebut maka perlu meningkatkan presentase penggunaan air. Tabel 4. menunjukkan hasil uji *greensand* dengan aditif *starch* tapioka 1% dan 1,5% dengan nilai *compactibility* tetap 40%. Penggunaan presentase air yang meningkat dengan nilai *compactibility* yang tetap menghasilkan nilai uji yang memenuhi standar pada sampel c2. Dimana sampel tersebut menggunakan *starch* tapioka 1% dan air 3,6 % menghasilkan *moisture* 3.906% yang hampir mendekati batas maksimal standar. Sedangkan sampel d2 yang menggunakan *starch* tapioka 1,5% dan air 3,8 % menyebabkan *moisture* melebihi standar yaitu 4.177%.

Tabel 3. Hasil uji *greensand* dengan aditif *starch* tapioka dan presentase air tetap 3%

Jenis Pengujian	Standar pasir <i>greensand</i> baru	Penggunaan <i>starch</i> (%)			
		0 (A)	0,5 (B)	1 (C1)	1,5 (D1)
<i>Moisture</i> (%)	2,8 – 4	3,547	3,448	3,374	3,226
<i>Permeability</i>	90 – 140	149	128	120	117
<i>Compactability</i>	38 – 42	40	40	37	34
<i>GCS</i> (N/cm ²)	> 7	8	8,6	7,7	7,4
<i>WTS</i> (N/cm ²)	> 0,200	0,205	0,224	0,218	0,210
<i>DCS</i> (N/cm ²)	> 15	17,5	16,2	14,4	13,2

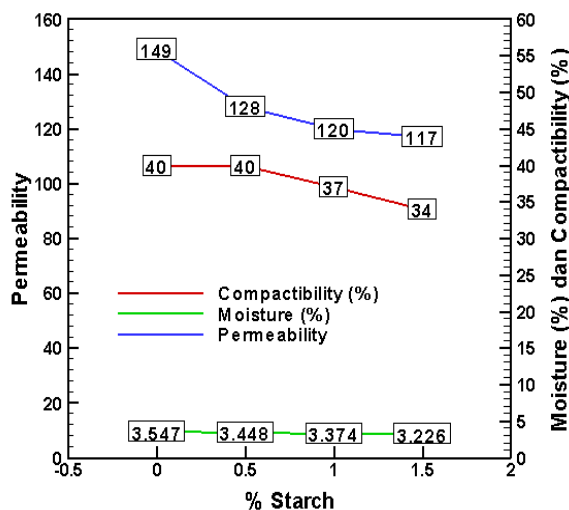
Tabel 4. Hasil uji *greensand* dengan aditif *starch* tapioka dan *compactibility* tetap 40%

Jenis Pengujian	Standar pasir <i>greensand</i> baru	Sampel	
		C2 (1 % <i>starch</i> 3,6% air)	D2 (1,5 % <i>starch</i> 3,8% air)
<i>Moisture</i> (%)	2,8 – 4	3,906	4,177
<i>Permeability</i>	90 – 140	127	113
<i>Compactability</i>	38 – 42	40	40
<i>GCS</i> (N/cm ²)	> 7	8,3	8,1
<i>WTS</i> (N/cm ²)	> 0,200	0,241	0,236
<i>DCS</i> (N/cm ²)	> 15	16,3	18

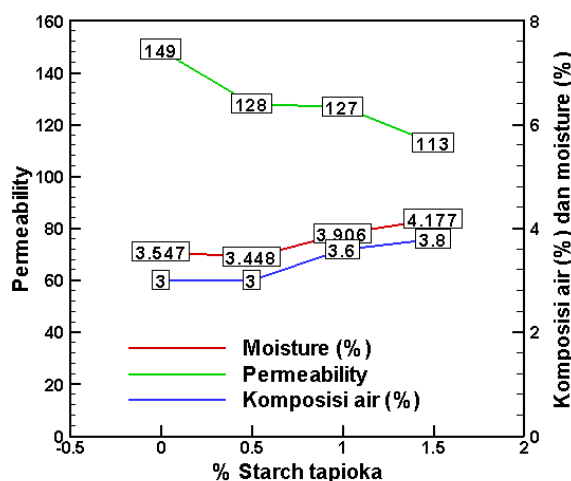
Berdasarkan grafik pada Gambar 2. *permeability*, *moisture*, dan *compactibility* dengan presentase air tetap 3% menunjukkan tren yang sama. Nilai *permeability*, *moisture*, dan *compactibility* menurun seiring meningkatnya penggunaan *starch* tapioka. Pengujian *moisture* menunjukkan dengan presentase air yang sama menghasilkan *moisture* yang berbeda, dimana semakin banyak *starch* yang digunakan maka *moisture* semakin turun. Hal tersebut terjadi karena sebagian air atau *moisture* terserap oleh *starch*. Menurut peneliti sebelumnya, tepung singkong atau tapioka menunjukkan daya serap air yang lebih tinggi dibanding tepung terigu [17]. Penurunan *moisture* juga berpengaruh pada nilai *compactibility*, semakin rendah *moisture* menyebabkan nilai *compactibility* menurun atau *compactibility* meningkat seiring meningkatnya *moisture* [4]. Penggunaan *starch* tapioka 0% dan 0,5% menghasilkan *compactibility* yang sama, yaitu 40%. Sedangkan penggunaan di atas 0,5% menyebabkan penurunan *compactibility* hingga tidak memenuhi standar, karena semakin banyak *moisture* yang terserap oleh *starch* tapioka. Selain itu *starch* juga berfungsi sebagai pengikat sama seperti bentonit, semakin banyak pengikat yang digunakan mengakibatkan penurunan nilai *compactibility* [4]. Oleh karena itu penambahan *starch* harus diikuti dengan penambahan air yang sesuai. Namun, jumlah penambahan air perlu diperhatikan dengan baik karena *moisture* juga akan mempengaruhi *permeability*, kekerasan, kuat tekan, dan kuat geser [18].

Penambahan *starch* juga menyebabkan *permeability* menurun. Hal ini terjadi karena *starch* sebagai pengikat yang menyelimuti butiran-butiran pasir membentuk ikatan yang baik sehingga pasir akan lebih rapat (*compactibility* menurun) dan mudah untuk dipadatkan. Penemuan ini sesuai dengan pernyataan dari peneliti sebelumnya, bahwa nilai dari *permeability* akan menurun seiring dengan meningkatnya penambahan *starch*. Bentonit dan *starch* tersebut akan mengisi rongga antar butir pasir sehingga mengakibatkan celah-celah antara butiran pasir semakin sempit, oleh karena itu aliran gas

yang melewati butiran-butiran pasir menjadi terhambat [8]. Gambar 3. menunjukkan grafik perbandingan komposisi air, *permeability*, dan *moisture* dengan *compactibility* tetap. Komposisi atau konsumsi air meningkat seiring meningkatnya penggunaan *starch* tapioka untuk mendapatkan nilai *compactibility* yang tetap 40%, namun *permeability* menurun seiring peningkatan penggunaan *starch* dan air.



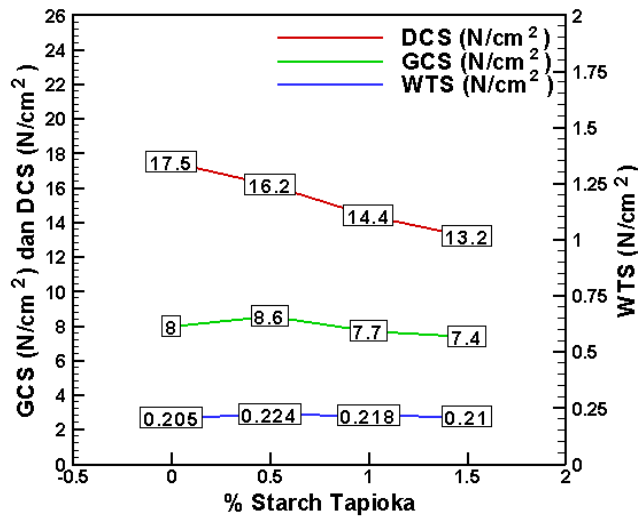
Gambar 2. Perbandingan *permeability*, *moisture*, dan *compactibility* dengan presentase air tetap 3%



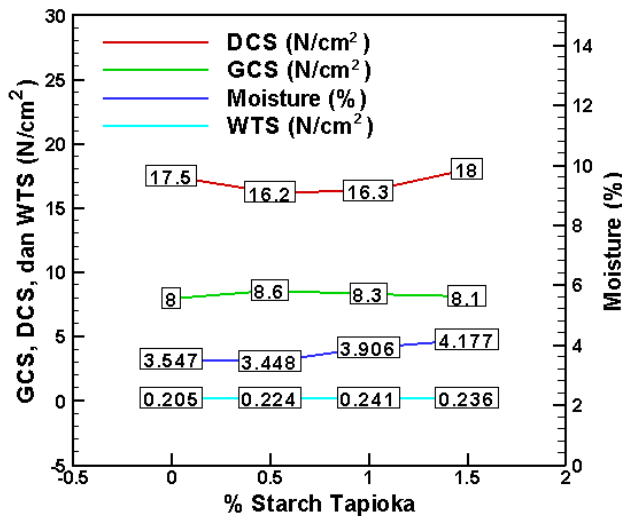
Gambar 3. Perbandingan komposisi air, *permeability*, dan *moisture* dengan *compactibility* tetap 40%

Berdasarkan grafik pada Gambar 4. nilai GCS dan WTS menunjukkan tren yang sama, namun DCS berbeda. Nilai GCS dan WTS maksimal terjadi pada penggunaan 0,5% *starch*, nilai GCS atau kuat tekan basah 8,6 N/cm² dan WTS atau kuat tarik basah 0,224 N/cm². Kemudian GCS dan WTS menurun seiring penurunan *moisture* dan *compactibility*. Penggunaan *starch* tapioka mempengaruhi *moisture* dan *compactibility*, sehingga secara tidak langsung penggunaan *starch* tapioka juga mempengaruhi GCS, DCS, dan WTS. Penggunaan *starch* menyebabkan nilai DCS terus menurun dibanding tanpa menggunakan *starch* (0%). Nilai *strength* DCS maksimal berada pada nilai 17,5 N/cm² dengan 0% *starch* dan minimal berada pada 13,2 N/cm² dengan 1,5% *starch*. Penurunan DCS terjadi karena pengaruh dari *moisture* yang rendah dan sebagian terserap oleh *starch* tapioka. Gambar 5. merupakan grafik perbandingan *moisture*, GCS, DCS, dan WTS dengan *compactibility* tetap. Peningkatan penggunaan *starch* tapioka dan *moisture* menyebabkan DCS meningkat namun GCS menurun, sedangkan nilai WTS fluktuatif. Nilai DCS dan GCS sama-sama dipengaruhi oleh kadar bentonit dan air. Jika kadar bentonit tetap dan kadar air bertambah maka DCS dan GCS akan

meningkat. Kadar bentonit yang tetap dan kadar air bertambah maka GCS akan meningkat sampai titik maksimal, setelah mencapai batas maksimal kekuatan tekan akan turun karena *moisture* yang terus meningkat [18]. Air tidak lagi sebagai aktifator dari bentonit sehingga bentonit akan menjadi pasta dan dapat menurunkan kekuatan tekan. DCS berbanding terbalik dengan GCS. Semakin banyak air yang terdapat di dalam pasir cetak, maka bentonit semakin encer dan akan menyebar kemudian menyelimuti pasir sehingga air bebas yang terdapat dalam pasir sudah menguap maka kekuatan tekan kering (DCS) meningkat [19][20].



Gambar 4. Perbandingan GCS, DCS, dan WTS dengan presentase air tetap 3%



Gambar 5. Perbandingan *moisture*, GCS, DCS, dan WTS dengan *compactibility* tetap 40%

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian pada pasir cetak *greensand* dengan aditif *starch* tapioka menunjukkan:

- Penambahan *starch* tapioka lebih dari 0,5% dengan air tetap 3% menyebabkan *compactibility* dan *dry compressive strength* (DCS) di bawah standar, serta menurunkan *moisture*, *permeability*, *green compressive strength* (GCS), dan *wet tensile strength* (WTS).
- Penambahan *starch* tapioka diikuti dengan penambahan komposisi air (3,6% dan 3,8%) dengan nilai *compactibility* yang tetap akan menyebabkan nilai *moisture*, *dry compressive strength* (DCS), dan *wet tensile strength* (WTS) meningkat. Namun, *permeability* dan *green compressive strength* (GCS) menurun.

- c. Penambahan *starch* tapioka yang optimal pada pasir cetak *greensand* dengan pasir silika baru adalah 0,5% *starch* tapioka dengan 3% air. Dimana didapatkan nilai maksimal pada *green compressive strength* (GCS) 8,6 N/cm², *compactibility* 40%, dan *wet tensile strength* (WTS) 0,224 N/cm².
- d. Penggunaan *starch* tapioka secara tidak langsung mempengaruhi GCS, DCS, dan WTS, karena ketiganya sangat dipengaruhi oleh *moisture* dan *compactibility*. Dimana semakin banyak *starch* tapioka yang digunakan, mengakibatkan *moisture* dan *compactibility* menurun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. T. Bhirawa, P. Studi, T. Industri, and U. Suryadarma, “Proses Pengecoran Logam Dengan Menggunakan Sand Casting,” *J. Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 31–41, 2013, doi: 10.35968/jtin.v4i1.826.
- [2] A. D. Shieddieque, I. Putra Nugraha, M. I. Z. Muttahar, and G. Heryana, “Pengaruh Variasi Campuran Bentonit Terhadap Karakteristik Pasir Cetak Untuk Proses Sand Casting,” *Rekayasa*, vol. 15, no. 3, pp. 316–325, 2022, doi: 10.21107/rekayasa.v15i3.16194.
- [3] I. M. Astika, D. P. Negara, and M. A. Susantika, “Pengaruh Jenis Pasir Cetak dengan Zat Pengikat Bentonit Terhadap Sifat Permeabilitas dan Kekuatan Tekan Basah Cetakan Pasir (Sand Casting),” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. Vol.4, no. No.2, pp. 132–138, 2010.
- [4] J. Sadarang, R. K. Nayak, and I. Panigrahi, “Effect of binder and moisture content on compactibility and shear strength of river bed green sand mould,” in *Materials Today: Proceedings*, 2020, no. xxxx. doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.640.
- [5] Hariningsih, N. Lia, and Y. Umardani, “Optimalisasi komposisi pasir cetak green sand sebagai upaya menghilangkan cacat blow holes,” vol. 5, no. 2, pp. 23–29, 2022.
- [6] N. Prabhushankar and N. Balaji, “Various alternative sources for silica sand, binders and additives in sand casting and their properties - A review,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 993, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/993/1/012137.
- [7] L. Firdaus, M. N. Hidajatullah, and A. Sambas, “Pengaruh penambahan additive starch jenis tapioka terhadap sifat mekanik dan kekuatan pasir cetak greensand di Politeknik Manufaktur Bandung,” *J. Keilmuan dan Terap. Pengecoran Logam Pengaruh*.
- [8] P. O. Atanda, O. E. Olorunniwo, K. Alonge, and O. O. Oluwole, “Comparison of Bentonite and Cassava Starch on the Moulding Properties of Silica Sand,” *Int. J. Mater. Chem.*, vol. 2, no. 4, pp. 132–136, 2012, doi: 10.5923/j.ijmc.20120204.03.
- [9] A. P. Ihom, J. N. Ogbodo, A. M. Allen, E. I. Nwonye, and C. Ilochionwu, “Analysis and prediction of green permeability values in sand moulds using multiple linear regression model,” *African J. Eng. Res.*, vol. 2, no. February, pp. 8–13, 2014.
- [10] I. D. Muhammad and A. I. Arogundade, “Optimizing Green Strength of Foundry Sand Using Natural Starch as Additive Optimizing Green Strength of Foundry Sand Using Natural Starch as Additive,” *J. Sci. Technol. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 43–52, 2022, doi: 10.37933/nipes/4.3.2022.5.
- [11] D. Chowdhary, “Green Sand management - Role & application of carbonaceous additives and concept of total carbon in a Green Sand system,” *68th World Foundry Congr. 2008, WFC 2008*, pp. 127–132, 2008.
- [12] S. Sutiyoko and F. Madani, “Perubahan karakteristik cetakan green sand dan cacat inklusi pasir akibat perubahan kadar bentonit,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 6, no. 2, p. 50, 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i2.1276.
- [13] W. F. Breuninger, K. Piyachomkwan, and K. Siroth, *Tapioca/Cassava Starch: Production and Use*, Third Edit. Elsevier Inc., 2009. doi: 10.1016/B978-0-12-746275-2.00012-4.
- [14] K. Kaczmarska, B. Grabowska, and D. Drożyński, “Analysis of Selected Technological Properties of Green Sands With Starch-Based Additives,” *Metall. Foundry Eng.*, vol. 41, no. 2, p. 65, 2015, doi: 10.7494/mafe.2015.41.2.65.
- [15] D. Drożyński, Ż. Kurlito, K. Kaczmarska, and B. Grabowska, “Analysis of Selected Technological Properties of Green Sands With Starch-Based Additives,” *Metall. Foundry Eng.*, vol. 41, no. 2, p. 65, 2015, doi: 10.7494/mafe.2015.41.2.65.
- [16] A. Andoko, R. Nurmalasari, M. A. Mizar, R. Wulandari, P. Puspitasari, and A. A.

- Permanasari, "The Strength of Moulding Sand Consisting of a Mixture of Bentonite, Tapioca Flour, and Sago Flour as a New Binder Formula to Improve the Quality of Al-Si Cast Alloy," *J. Mech. Eng. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 32–37, 2017, doi: 10.17977/um030v1i12017p032.
- [17] R. Rauf and D. Sarbini, "Daya Serap Air Sebagai Acuan Untuk Menentukan Volume Air Dalam Pembuatan Adonan Roti Dari Campuran Tepung Terigu Dan Tepung Singkong," *J. Agritech*, vol. 35, no. 03, p. 324, 2015, doi: 10.22146/agritech.9344.
- [18] P. A. Ihom, J. Agunsoye, E. E. Anbua, and J. Ogbodo, "Effects of moisture content on the foundry properties of yola natural sand," *Leonardo Electron. J. Pract. Technol.*, vol. 10, no. 19, pp. 85–96, 2011.
- [19] A. Azhar, S. Shamsuddin, B. T. H. T. Baharudin, M. K. H. Ariffin, and T.R. Vijayaram, "The effect of bentonite clay on green compression strength for tailing sands from old tin mines in Perak state, Malaysia for making green sand casting mould," *Key Eng. Mater.*, vol. 471–472, pp. 769–774, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.769.
- [20] M. S. Abolarin, S. A. Lawal, and A. A. Salawu, "Effect of Moisture Content on the Moulding Properties of River Niger Sand Using Tudun-Wada Clay as a Binder," *Au J.T.*, vol. 13, no. 3, pp. 170–174, 2010.